

УДК 622.537.86

Г.П. Стариков, В.В. Завражин, Д.В. Мельников, А.Н. Бойко

## СОРБЦИОННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЫБРОСООПАСНОГО ПЕСЧАНИКА

ИФГП НАН Украины

*Проведено дослідження десорбції метану з викиднебезпечного пісковика пласта h'<sub>6</sub> «Смоляниновський» шахти ім. О.О. Скочинського з урахуванням термообробки.*

**Ключові слова:** шахта, енергія активації десорбції метану, ЯМР-спектроскопія, пісковик, поруватість

G.P. Starikov, V.V. Zavrazhin, D.V. Melnikov, A.N. Boyko

## SORPTION STUDY OF THE OUTBURST HAZARDOUS SANDSTONE

*Methane desorption from sandstone of the coal seam h'<sub>6</sub> «Smolyaninoskiy», Skochinskogo mine, was studied in various temperature conditions.*

**Keywords:** coal mine, activation energy, methane desorption, NMR-spectroscopy, sandstone, porosity

С переходом горных работ на большие глубины значительно усложняются горно-геологические условия, определяющие физико-механические и коллекторские свойства угольных пластов и вмещающих пород. Особенно это относится к мощным слоям песчаника с кварцевым цементом, склонным к газодинамическим явлениям.

Основной характеристикой песчаников как коллекторов газов является открытая пористость, находящаяся в пределах 5,8–3,5% [1]. Средние значения открытой пористости у выбросоопасных песчаников составляют 8%, у невыбросоопасных – 5%. Кроме этого, выбросоопасные песчаники характеризуются полидисперсной структурой с максимумами в области микропор, переходных пор и субмакропор. Объем микропор изменяется от 8,4 до 41,0% общего объема пор; основной объем занимают переходные поры (21,7–49,6 %) и субмакропоры (11,6–49,1%) [2].

Газопроницаемость песчаников, определяемая по наслоению, составляет 0,1–654,2 мД. Она закономерно изменяется в региональном плане в соответствии с изменением открытой и абсолютной пористости. Автора-

ми [3] установлено, что газопроницаемость песчаников в районах развития углей марок Д-Г, Г, Ж, К находится в корреляционной связи с глубиной залегания. Между открытой пористостью и газопроницаемостью независимо от стадии этих эпигенетических изменений также выявлена корреляционная связь.

В газах выбросоопасных песчаников содержатся, %: метан – 83,8–95,1; тяжелые углеводороды – 2,1–2,3; азот – 3,2–12,8; углекислый газ – 0,04–1,5; гелий – 0,08–0,12; аргон – 0,05–0,12. В отдельных пробах имеется водород – 0,10–0,12 % [4].

Влажность песчаника при температуре высушивания 60°C колеблется от 0,40 до 1,62 %. Не опасные по выбросам песчаники содержат в 2 раза больше влаги, чем выбросоопасные. Оценка степени насыщения различных песчаников влагой и газом позволила установить, что в выбросоопасных песчаниках всегда более 40% порового пространства занято газом [5].

Метаноемкость песчаников увеличивается с ростом давления (при 3 МПа и 30°C колеблется в пределах 0,05–0,95 мл/г породы), причем она значительно выше в выбросоопасных песчаниках. Эти песчаники характеризуются и повышенной потенциальной метаноемкостью, значения которой при давлении 3 МПа для опасных и неопасных песчаников равны соответственно 1,13 и 0,88 мг/г породы. Природная газоносность песчаников в выбросоопасных зонах составляет в среднем  $2,6 \pm 0,4 \text{ м}^3/\text{т}$ , в невыбросоопасных –  $0,7 \pm 0,4 \text{ м}^3/\text{т}$  [5].

Целью настоящей работы было изучение коллекторских свойств выбросоопасных песчаников с кварцевым цементом. Для исследований были отобраны пробы с полевого вспомогательного уклона №2 УПЦП, гор. 1024 м, ПК 17 (178 м), разрабатываемого в пределах основной почвы пласта  $h'_6$  «Смоляниновский» шахты им. А.А. Скочинского.

Вмещающие породы представлены песчаником кварцевым, светло-серым, крепостью  $f = 8-9$ , от мелко- до среднезернистого, слюдистым, с горизонтальной и косой слоистостью, с неповсеместным развитием тонких (0,3–0,5 м) прослоев песчаного сланца и углистых прослоев мощностью 0,2 м.

Гипсометрия слоя пород относительно выдержана. Содержание  $\text{SiO}_2$  в песчанике – 65%. Температура горных пород 47–48°C.

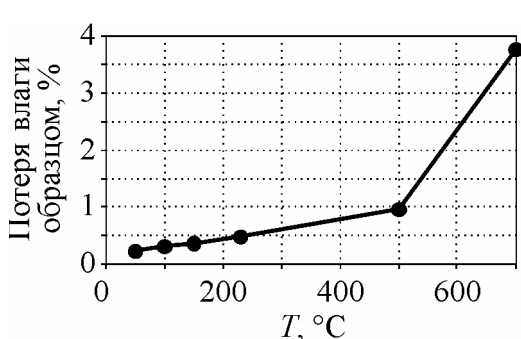


Рис. 1. Зависимость потери влаги песчаником от температуры для шахты им. А.А. Скочинского

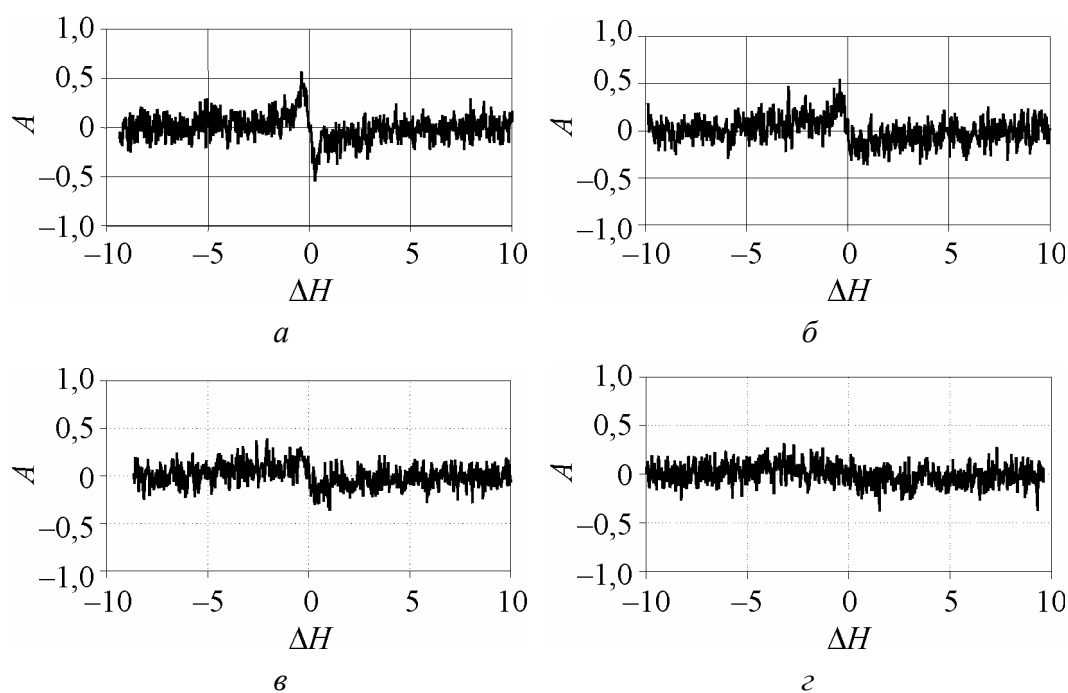
Для определения количества физически и химически связанной влаги были подготовлены образцы песчаника размером 0,4–0,5 мм. Образцы высушивали в течение 1 ч при нескольких температурах, °C: 50, 100, 150, 250, 500, 700. Результаты представлены на рис. 1.

Как видно из графика, потеря влаги при воздействии температуры до 500°C имеет линейный характер. С повышением температуры наблю-

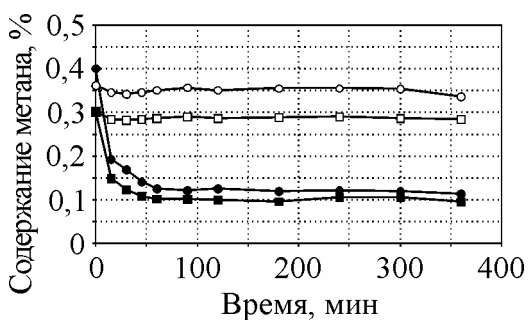
дается резкое увеличение потери массы. Это возможно за счет выхода кристаллизационной влаги.

Для контроля степени высушивания были записаны спектры ЯМР- $^1\text{H}$  выбросоопасного песчаника для каждой из температур нагревания (рис. 2). Из анализа полученных спектров установлено уменьшение амплитуды от 0,56 до 0,32 В и увеличение ширины широкой линии от 2,7 до 5,9 Э (запись спектров проводили при равных условиях).

Поскольку газодинамическая активность песчаников определяется степенью его метанонасыщения и кинетикой газовыделения, были проведены исследования десорбции метана из образцов с естественной влажностью, а также из образцов, высушенных при температурах  $T = 250$  и  $700^\circ\text{C}$ , после насыщения их метаном при давлении 10,0 МПа в течение 10 сут. На рис. 3 представлены зависимости изменения содержания метана от времени десорбции при температурах  $T = 20$  и  $50^\circ\text{C}$  и фракциях угля  $r_1 = 0,4\text{--}0,5$  мм и  $r_2 = 2,0\text{--}2,5$  мм.



**Рис. 2.** Спектры ЯМР- $^1\text{H}$  выбросоопасного песчаника шахты им. А.А. Скочинского при разных температурах  $T$ ,  $^\circ\text{C}$ : а – 25; б – 250; в – 500; з – 700



**Рис. 3.** Десорбция метана из песчаника (исходный образец): при  $T = 20^\circ\text{C}$  (светлые символы) и  $T = 50^\circ\text{C}$  (зачерненные символы); ■, □ –  $r_1 = 0,4\text{--}0,5$  мм; ○, ● –  $r_2 = 2,0\text{--}2,5$  мм

На основе полученных результатов кинетики десорбции метана из песчаника были рассчитаны значения эффективных коэффициентов массопереноса в зависимости от температуры обработки и времени для исходного образца и образцов, обработанных при  $T = 250$  и  $700^\circ\text{C}$  (рис. 4).

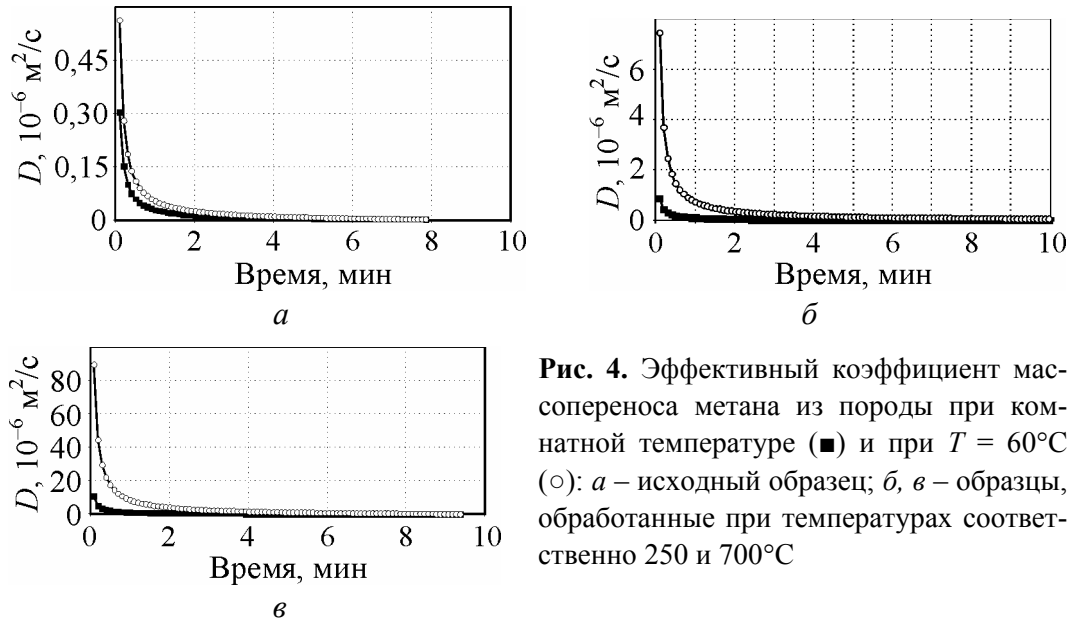


Рис. 4. Эффективный коэффициент массопереноса метана из породы при комнатной температуре (■) и при  $T = 60^\circ\text{C}$  (○): а – исходный образец; б, в – образцы, обработанные при температурах соответственно  $250$  и  $700^\circ\text{C}$

В ходе исследований установлена зависимость энергии активации выхода метана  $E$  от температуры обработки образцов (рис. 5,а). Из графика видно, что изменение величины  $E$  носит линейный характер. С ростом температуры энергия активации выхода метана из породы уменьшается.

При обработке образцов песчаника высокой температурой ( $T > 500^\circ\text{C}$ ) открытая пористость песчаника возрастает в 2,5–3,5 раза и соответственно повышается потенциальная метаноемкость (рис. 5,б). Замечено увеличение в 3,5 раза количества метана в образце после температурной обработки по сравнению с исходным.

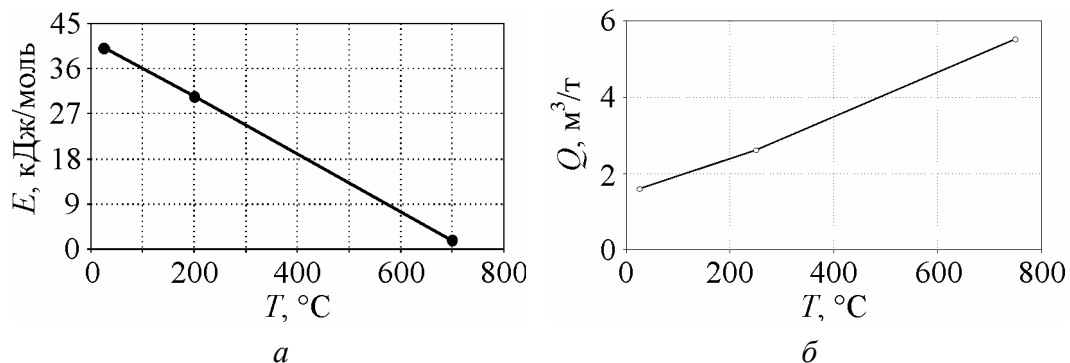


Рис. 5. Зависимость энергии активации выхода метана из породы (а) и количества метана в породе (б) от температуры обработки

**Выводы** При сравнении исходного образца и образца, высушенного при 700°C, установлено, что амплитуда спектров ЯМР песчаника уменьшается в среднем в 1,7 раза, а ширина широкой линии увеличивается в 2 раза, что соответствует выходу кристаллизационной влаги.

Обнаружено уменьшение энергии активации образцов выбросоопасного песчаника с 40 кДж/моль при  $T = 25^\circ\text{C}$  до 1,8 кДж/моль при  $T = 700^\circ\text{C}$ .

Определена потенциальная метаноемкость для песчаника шахты им. А.А. Скочинского, составляющая для исходного образца  $1,6 \text{ м}^3/\text{т}$ , для образца, обработанного температурой  $700^\circ\text{C}$ ,  $-5,6 \text{ м}^3/\text{т}$ .

Работа выполнена в рамках проекта УНТЦ № 4202.

1. *Абрамов Ф.А., Шевелев Г.А.* Свойства выбросоопасных песчаников как породы-коллектора. – К.: Наук. думка, 1972. – 98 с.
2. *Забигайло В.Е., Моссур Е.А.* Минералогический состав, структура и текстура выбросоопасных песчаников Донбасса. – В кн.: Вопросы теории выбросов угля, пород и газа. – К.: Наук. думка, 1973. – С. 308–320.
3. *Потураев В.Н., Зорин А.Н., Забигайло В.Е. и др.* Прогноз и предотвращение выбросов пород и газа. – К.: Наук. думка, 1986. – 160 с.
4. *Забигайло В.Е., Кудельский В.В.* Современное состояние изученности геологических условий проявления выбросов пород в глубоких шахтах Донбасса. – В кн.: Выбросы породы и газа. – К.: Наук. думка, 1971. – С. 70–76.
5. *Забигайло В.Е., Рудометов Б.П., Лукинов В.В.* Соотношение влага–газ в порых пород как показатель их выбросоопасности // Техника безопасности, охрана труда и горноспасат. дело. – 1973. – № 3. – С. 25–26.
6. *Смоланов И.Н., Стариков Г.П., Василенко Т.А., Завражин В.В., Мельников Д.В.* Способ определения коэффициента диффузии метана в ископаемом угле // Физико-технические проблемы горного производства: сб. науч. тр. / НАН Украины, Институт физики горных процессов. – 2003. – Вып. 6. – С. 151–156.

*Статья поступила в редакцию 19 сентября 2008 года*